Crecimiento y productividad de plantaciones de seis especies forestales nativas de 20 años de edad en el bosque Alexander Von Humboldt, Amazonia Peruana

Ymber Flores Bendezú
ymberf@hotmail.com
Luis Ugalde A.
CATIE. lugalde@catie.ac.cr
Glenn Galloway
CATIE. galloway@catie.ac.cr
Fernando Carrera
CATIE. fcarrera@catie.ac.cr



Foto: Ymber Flores.

Plantación de *Cedrelinga catenaeformis* en líneas de enriquecimiento de 20 años de edad. Bosque Nacional Alexander von Humboldt, Perú.

Resumen

Se presenta los resultados de plantaciones experimentales de *Cedrelinga catenaeformis, Amburana cearensis, Copaifera reticulata, Aspidosperma macrocarpon, Swietenia macrophylla* y *Simarouba amara* en el Bosque Nacional Alexander von Humboldt, Perú. Los resultados obtenidos a 20 años de edad muestran el gran potencial de *C. catenaeformis*, la especie con el mejor crecimiento y productividad tanto en fajas de enriquecimiento como en plantaciones puras. Con esta especie se obtuvo en plantaciones puras un diámetro promedio a la altura del pecho de 35,8 cm, una altura total promedio de 26,42 m, un área basal de 30,35 m^2/ ha y un volumen promedio de 380,2 m^3/ ha, resultados que son estadísticamente superiores a los de las otras especies. Además, esta especie muestra excelentes resultados en sanidad, calidad de fuste, forma y posición de copa. En fajas de enriquecimiento, *C. catenaeformis* creció mejor en suelos acrisoles, con topografía de ondulada a colinosa y en fajas de 5 m de ancho.

Palabras claves: Plantación forestal; *Cedrelinga catenaeformis*; *Amburana cearensis*; *Copaifera reticulata*; *Aspidosperma macrocarpon*; *Swietenia macrophylla*; *Simarouba amara*; crecimiento; rendimiento; Bosque Nacional Alexander von Humboldt; Amazonía Peruana; Perú.

Summary

Growth and productivity of native plantations of six forests species of 20 years of age in the forest Alexander Von Humbold, Peruvian Amazonia. Experimental plantations using the native species *Cedrelinga catenaeformis, Amburana cearensis, Copaifera reticulata, Aspidosperma macrocarpon, Swietenia macrophylla* and *Simarouba amara* were established in the National Forest Alexander von Humboldt, Peru. Twenty years after planting the results indicate the great potential of *C. catenaeformis*, the species with superior growth and productivity in both enrichment plantings and pure-block plantations. The species attained a mean diameter at breast height of 35,8 cm in pure plantations, mean height of 26,4 m, basal area of 30,3 m^2 / ha and a mean volume of 380,2 m^3/ha. These results are statistically superior to those of the other species. This species also boasts excellent health, stem quality and form and crown position. In enrichment plantings *C. catenaeformis* grew better in acrisol soils, with undulating to hilly topography in 5 m wide strips.

Keywords: Plantation; *Cedrelinga catenaeformis, Amburana cearensis; Copaifera reticulata*; *Aspidosperma macrocarpon*; *Swietenia macrophylla*; *Simarouba amara*; growth; yield; Alexander von Humboldt National Forest; Peru.

En el Perú, se ha estimado una deforestación acumulada de aproximadamente 9,5 millones de hectáreas, mientras que la reforestación realizada hasta 1998 cubre un total de 605 825 ha. La Amazonia, a pesar de ser la más extensa región boscosa del país, no presenta mayor actividad de reforestación. Una de las razones es la insuficiencia de conocimientos técnicos para respaldar el establecimiento de plantaciones, especialmente en cuanto a las especies nativas; además, la información existente está dispersa, fragmentada o inconclusa. Para aportar a la solución de este problema, el INIA Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA) estableció una serie de plantaciones forestales que cumplen objetivos múltiples. No obstante, la mayor parte de la información generada en estas plantaciones aun no ha sido publicada. Tal es el caso de las plantaciones experimentales establecidas en el Bosque Alexander von Humboldt entre 1982 – 1985. En el presente artículo se compara el crecimiento, productividad y condición sanitaria de plantaciones de *Cedrelinga catenaeformis* Ducke, *Amburana cearensis* (Allemao) A.C. Smith, *Swietenia macrophylla* King., *Copaifera reticulata* Ducke, *Aspidosperma macrocarpon* Mart. y *Simarouba amara* Aubl. establecidas en plantaciones puras. Asimismo, se determina el efecto del sistema de plantación, el suelo y la topografía en el crecimiento y la productividad *C. catenaeformis* y *A. cearensis* establecidas en fajas de enriquecimiento.

Metodología

El área experimental se encuentra dentro del Bosque Alexander von Humboldt entre 8°31’00” – 8°50’30” Sur y 74°14’27” – 74°55’10” Oeste.

La temperatura promedio es de 26,7°C, y la precipitación anual promedio es de 3600 mm. Los suelos son de origen sedimentario y pH promedio de 5,1. En la zona de estudio se encuentran suelos de tipo gleysol, acrisol y cambisol (Sistema FAO/UNESCO). El área experimental está ubicada a una altura entre 240 y 340 msnm, en tres zonas topográficas características: a) zona plana; b) zona ondulada y c) zona colinosa. Las evaluaciones se realizaron en dos tipos de plantaciones establecidas entre 1982-1984 (INIAA-JICA 1991):

Ensayo en plantaciones puras.- Consiste en bloques de 1 ha para cada especie ensayada. El terreno utilizado fue un campo de cultivo con siete años de abandono sobre suelos de tipo gleysol y acrisol con fisiografía plana (Carrera 1987, INIAA-JICA 1991, Vidaurre 1994). Las especies ensayadas fueron escogidas principalmente por su valor comercial: *C. catenaeformis*, *A. cearensis*, *S. macrophylla*, *S. amara*, *A. macrocarpon* y *C. reticulata*. Se empleó un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron las seis especies estudiadas. Las unidades experimentales fueron cuatro parcelas temporales rectangulares para cada especie. La parcela total es de 30 x 33 m (990 m^2); cada parcela incluye 110 árboles a un distanciamiento entre árboles de 3 x 3 m. Para las mediciones de campo y procesamiento de datos se utilizó la metodología del Sistema MIRA-SILV (Ugalde 2000). Se midió el dap, altura total, altura comercial, estado sanitario y calidad de fuste. Para la forma y posición de copa se utilizó la clasificación de Synnot (1979). Se estimaron los siguientes parámetros: número de árboles por hectárea, porcentaje de árboles remanentes (%), dap promedio (cm); altura total promedio (m), altura dominante (m), altura comercial (m) e incrementos medios anuales para diámetro y altura total; área basal por hectárea (m^2/ha); volumen por hectárea (m^3/ha) e incrementos medios anuales en volumen; calidad de fuste, estado fitosanitario del árbol, forma de copa y posición de copa. Para los análisis estadísticos se utilizó el programa estadístico SAS. Para los parámetros de crecimiento y productividad se realizó la comparación de medias utilizando la Prueba de Duncan. Para los parámetros de forma y sanidad se diseñaron gráficos y/o cuadros de la distribución de las frecuencias absolutas o relativas. Se aplicó una prueba ji-cuadrada para evaluar la hipótesis de independencia de las frecuencias con respecto a las especies.

Plantaciones en fajas de enriquecimiento.- En el Bosque Von Humboldt se ensayaron tres tipos de fajas de enriquecimiento (Vidaurre 1994):

1. *Fajas de 5 m de ancho.* Se instaló una línea de árboles en el centro de la faja, con una separación de 3 ó de 5 m entre plantas. Las entrefajas utilizadas fueron de 10, 15 y 20 m.
2. *Fajas de 10 m de ancho.* Se usaron dos variaciones de este sistema. En el primer caso, los plantones fueron ubicados en el centro de la faja a una distancia de 5 m entre plantas. En el segundo caso, se colocaron dos filas de árboles con una separación de 3 m entre filas y 3 m entre plantas. La entrefaja utilizada fue de 20 metros.
3. *Fajas de 30 m de ancho.* También se usaron dos variaciones. En el primer caso dentro de la faja hay 10 filas de árboles distanciadas 2,5 x 2,5 m. En el segundo caso hay 5 m de distancia entre filas y 15 m de distancia entre árboles.

El presente estudio evalúa específicamente a *C. catenaeformis* y *A. cearensis*, las especies que mostraron mejores comportamientos. Cada especie se analizó por separado. Se consideraron tres factores y tres niveles para cada factor: 1) sistemas de plantación (fajas de 5 m, 10 m y 30 m); 2) tipos de suelo (gleysol, acrisol y cambisol); 3) topografía (plana, ondulada y colina). Los tratamientos ensayados con cada especie fueron los siguientes:

C. catenaeformis	***A. cearensis***
GLEPLA05	GLEPLA05
GLEPLA10	GLEPLA10
GLEPLA30	GLEPLA30
ACRPLA05	GLEOND05
ACRPLA10	ACRPLA10
ACRPLA30	ACRPLA30
ACROND05	ACROND05
CAMCOL05	ACRCOL05
CAMCOL10	CAMOND05
	CAMCOL05
	CAMCOL10

GLE = gleysol
ACR = acrisol
CAM = cambisol
PLA = plano
OND = ondulado
COL = colina
05 = faja de 5 m de ancho
10 = faja de 10 m de ancho
30 = faja de 30 m de ancho

Se utilizó un diseño completamente al azar con cinco repeticiones. El tamaño de muestra establecido fue de 100 individuos por tratamiento, por lo que cada una de las cinco repeticiones tiene 20 individuos. El número total de unidades experimentales o parcelas fue de 45 para *C. catenaeformis* y 55 para *A. cearensis*. Se consideraron dos opciones de tamaño de parcela: en la primera se considera como borde de la parcela el centro de la entrefaja; en la segunda se considera un borde situado a 5 m del límite de la entrefaja con la faja de enriquecimiento. El ancho de entrefaja de 5 m se eligió por ser la distancia mínima que evita que las copas de los árboles se entrecrucen a la edad de corta. Se estima, por ejemplo, que a 30 años de edad un árbol de *C. catenaeformis* debe tener 60 cm dap y entre 10-15 m de diámetro de copa (Schwyzer 1981, Blaser *et al.* 1985, Vidaurre 1994).

Para las mediciones de campo y procesamiento se utilizó la metodología del Sistema MIRA-SILV. Se midió el dap, altura total, altura comercial, estado sanitario y calidad de fuste. Para la forma y posición de copa, se utilizó la clasificación de Synnot (1979). Se estimaron los mismos parámetros que en el ensayo de plantaciones a campo abierto. Los análisis estadísticos se hicieron con el programa estadístico SAS. Para los parámetros de crecimiento y productividad se realizó la comparación de medias utilizando la Prueba de Duncan. La comparación de promedios grupales por tipo de suelo, fisiografía y sistema de plantación se hizo mediante pruebas de contrastes ortogonales. Se aplicó una prueba ji-cuadrada para evaluar la hipótesis de independencia de las frecuencias de categorías de los parámetros con respecto a las especies.

Resultados y discusión

Plantaciones puras

El análisis de varianza no incluyó a *S. macrophylla* ni *A. macrocarpon*, ya que solo se evaluó una parcela de las cuatro necesarias (Cuadro 1). *C. catenaeformis* fue la especie con mayor dap promedio: 35,8 cm en 20 años. *S. amara* fue la segunda especie con mejor dap: 16,2 cm a los 20 años, lo cual es muy bajo para esta especie que se considera de rápido crecimiento. La mayor altura promedio fue para *C. catenaeformis* que alcanzó 26,4 m a los 20 años de edad. La causa de los bajos valores en altura promedio para *C. reticulata* y *A. cearensis* puede atribuirse al inadecuado mantenimiento. La especie con mayor altura dominante fue *C. catenaeformis* con 30,78 m.

S. amara y *C. catenaeformis* muestran un 66% de individuos con fustes rectos y cilíndricos (Cuadro 2). La tendencia de *C. catenaeformis* a formar buenos fustes ya había sido reportada por Kanashiro y Yared (1991) y Vidaurre (1994). El 100% de los individuos de *C. catenaeformis* son clasificados como vigorosos, sin señales de plagas ni enfermedades. Asimismo, el 44,25% de individuos de *C. catenaeformis* y el 43,4% de *S. amara* muestran una copa completamente libre. En cuanto a la forma de la copa, *C. catenaeformis* posee la mejor arquitectura con el 26,7% de árboles con copa perfecta y 34,2%

Cuadro 1.
Crecimiento en plantaciones puras de cuatro especies forestales en el Bosque A. von Humboldt, Perú
Promedios con la misma letra no son estadísticamente diferentes (P 0,05), prueba de Duncan

Especie	Número de árboles por ha	Porcentaje de árboles actuales con respecto al número original (%)	dap (cm)	IMA dap (cm/ año)	Altura total (m)	IMA altura total (m/año)	Altura dominante (m)	Altura comercial (m)
Cedrelinga catenaeformis	309 b	28 b	35,80 a	1,96 a	26,42 a	1,42 a	30,77 a	10,24 a
Simarouba amara	745 a	67 a	16,23 b	0,87 b	14,12 b	0,75 b	19,50 b	8,21 b
Copaifera reticulata	846 a	76 a	13,95 bc	0,75 bc	8,07 c	0,40 c	13,20 d	5,18 c
Amburana cearensis	877 a	79 a	12,20 c	0,63 c	8,60 c	0,45 c	16,42 c	5,55 c
R2	0,76	0,75	0,97	0,96	0,96	0,95	0,93	0,83
P > F	0,0005 *	0,0006 *	<0,0001 *	<0,0001 *	<0,0001 *	<0,0001 *	<0,0001 *	<0,0001 *

Cuadro 2.
Frecuencia y porcentaje de forma de fuste con respecto al número total de ejes vivos en plantaciones puras de 20 años de edad de cuatro especies forestales nativas en el Bosque A. von Humboldt, Perú

Forma de fuste/Sanidad	Especies							
	Cedrelinga catenaeformis		*Copaifera reticulata*		*Amburana cearensis*		*Simarouba amara*	
	Frec.	%	Frec.	%	Frec.	%	Frec.	%
Poco sinuoso	14	11,4	39	11,6	81	23,3	68	22,9
Muy sinuoso	0	0,0	30	8,9	130	37,4	11	3,7
Bifurcado	13	10,6	7	2,1	7	2,0	6	2,0
Inclinado	15	12,2	240	71,4	229	65,8	17	5,7
Ejes rectos y sin defectos de forma	81	65,9	91	27,1	9	2,6	196	66,0
Fuste y copa vigorosos	123	100,0	313	93,1	310	89,1	288	97,1

con copa buena. Los individuos con estas copas de buena forma se hallan en los estratos superiores de la plantación y tienen grandes posibilidades de desarrollarse.

El mayor promedio de área basal por hectárea (Cuadro 3) fue alcanzado por *C. catenaeformis* con 30,4 m^2/ha. Esta área basal se logró con un promedio de 309 árboles/ha; o sea, un 28% de árboles remanentes. Claussi *et al.* (1992) estimaron un área basal de 39,88 m^2/ha a los 18,5 años de edad en un ensayo a campo abierto con un espaciamiento inicial de 3 x 3 m en Jenaro Herrera, Amazonia peruana. Para el cálculo de volumen con corteza se utilizó la altura total, el dap y un factor de forma de 0,45. Los valores superiores fueron obtenidos por *C. catenaeformis* que alcanzó un promedio de 380,2 m^3/ ha. En el caso de Jenaro Herrera, se determinó un volumen de 409,5 m^3/ha, con un promedio de 622 árboles/ha (Claussi *et al.* 1992).

Plantación de *Cedrelinga catenaeformis* en fajas de enriquecimiento

El mayor dap promedio (Cuadro 4) se logró en el tratamiento ACRPLA05, con 30,7 cm de diámetro y un IMA en dap de 1,6 cm/ año. La diferencia en crecimiento en dap entre los tratamientos es significativa al nivel de 0,05. La comparación de promedios grupales muestra que el dap promedio de los tratamientos en suelo acrisol no difieren significativamente de los tratamientos en suelo gleysol, pero sí de los establecidos en suelo cambisol. Asimismo, existen diferencias entre zonas de colinas y onduladas.

En cuanto a la altura, *C. catenaeformis* alcanzó a los 20 años de edad un promedio de 23,2 m de altura en el tratamiento ACRPLA05 con un IMA en altura de 1,14 cm/año, lo cual está dentro del rango citado por Dawkins (1958) como condición necesaria para el éxito de una plantación en fajas de enriquecimiento en el trópico: 1-1,5 m/año. La comparación de promedios grupales muestra, sin embargo, que no hay evidencia de que existan diferencias significativas entre la altura promedio en los diferentes tipos de suelo. Respecto a la fisiografía no existen diferencias significativas en cuanto a la altura entre zonas colinosas y zonas onduladas (Cuadro 5).

Cuadro 3.
Productividad de plantaciones puras de cuatro especies forestales nativas en el Bosque A. von Humboldt.
Promedios con la misma letra no son estadísticamente diferentes (P 0,05), prueba de Duncan

Especie	Área basal (m^2 /ha)		Volumen (m^3/ha)		IMA Volumen (m^3/ha/año)	
Cedrelinga catenaeformis	30,35	a	380,20	a	21,43	a
Simarouba amara	16,17	b	120,83	b	6,80	b
Copaifera reticulata	12,87	b	58,30	b	3,30	b
Amburana cearensis	10,42	b	57,95	b	3,27	b
R2	0,68		0,87		0,88	
P > F	0,002	*	<0,0001	*	<0,0001	*

Cuadro 4.
Crecimiento de *C. catenaeformis* en fajas de enriquecimiento de 20 años
Promedios con la misma letra no son estadísticamente diferentes (P 0,05), prueba de Duncan

Tratamientos		Número de árboles por ha		Porcentaje de árboles actuales en relación al número original (%)		dap (cm)		IMA dap (cm/año)		Altura total (m)		IMA altura total (m/año)		Altura dominante (m)		Altura comercial (m)	
GLEPLA05	001	87	bc	65,0	ab	21,20	bc	1,04	bc	17,06	b	0,84	c	17,22	d	9,24	d
GLEPLA10	002	71	c	70,0	ab	23,17	bc	1,22	abc	18,60	b	1,00	abc	18,60	cd	11,00	bc
GLEPLA30	003	52	c	62,0	ab	26,43	ab	1,40	ab	23,20	a	1,23	a	23,20	ab	11,68	ab
ACRPLA05	004	72	c	54,0	ab	30,68	a	1,58	a	23,24	a	1,14	ab	23,24	ab	12,74	a
ACRPLA10	005	73	c	73,0	a	23,96	bc	1,34	abc	20,90	ab	1,18	ab	20,90	bcd	11,22	abc
ACRPLA30	006	560	a	56,0	ab	23,40	bc	1,32	abc	17,42	b	1,00	abc	26,48	a	10,03	dc
ACROND05	007	81	c	61,0	ab	25,68	ab	1,38	ab	20,42	ab	1,08	ab	20,42	bcd	12,06	ab
CAMCOL05	008	71	c	53,0	ab	17,56	c	0,98	c	17,04	b	0,96	bc	17,14	d	11,10	bc
CAMCOL10	009	153	b	46,0	b	21,08	bc	1,20	abc	19,14	b	1,06	abc	22,22	bc	11,12	Bc
R2		0,93		0,25		0,46		0,39		0,47		0,40		0,57		0,52	
P > F		<0,0001	*	0,2243	*	0,0046	*	0,019	*	0,004	*	0,0191	*	0,0002	*	0,0008	*

Cuadro 5.
Comparación de promedios grupales de variables de crecimiento a través de contrastes ortogonales
Los valores numéricos corresponden a las P > F. *C. catenaeformis* en plantaciones en líneas de enriquecimiento

Comparación	Número de árboles por ha	Supervivencia dominante	dap (cm)	IMA dap (cm/año)	Altura total (m)	IMA Altura (m/año)	Altura (m)	Altura comercial (m)
GLE vr ACR	<0,0001 *	0,4435 *	0,1594 NS	0,0538 NS	0,3823 NS	0,1908 NS	0,0065 *	0,0358 *
ACR vs CAM	0,0001 *	0,0702 *	0,0004 *	0,0024 *	0,2663 NS	0,1379 NS	0,0091 *	0,3383 NS
OND vs COL	0,2676 NS	0,1948 *	0,0120 *	0,0400 *	0,1206 NS	0,4090 NS	0,6407 NS	0,1135 NS
GLEPLA vs ACRPLA	<0,0001 *	0,4691 *	0,1685 NS	0,0568 NS	0,3960 NS	0,1792 NS	0,0016 *	0,1126 NS
5 m vs 10 m	0,2237 NS	0,3980 NS	0,4998 NS	0,9087 NS	0,9097 NS	0,1697 NS	0,2945 NS	0,6463 NS
R^2	0,93	0,25	0,46	0,39	0,47	0,40	0,57	0,52
P > F	<0,0001 *	0,2243 *	0,0046 *	0,0194 *	0,0035 *	0,0191 *	0,0002 *	0,0008 *

La altura dominante es definida en este estudio como la altura promedio de los 100 árboles más altos por hectárea. La mayor altura dominante se halló en el tratamiento ACRPLA30 con 26,4 m. Los tratamientos GLEPLA30 y CAMCOL10 mantienen los mejores fustes, rectos y cilíndricos (100% de individuos vivos). Los tratamientos ACRPLA30 (96,4%) y CAMCOL05 (96,2%) también muestran buenos fustes, mientras que en ACROND05 se da una tendencia hacia fustes más irregulares y menos rectos, ya que solo el 62,3% de individuos poseen fustes rectos y sin defectos de forma (Cuadro 6).

La tendencia de *C. catenaeformis* a desarrollar fustes muy rectos ya ha sido reportada por varios autores (Kanashiro y Yared 1991, Claussi *et al.* 1992, Vidaurre 1994). Asimismo, es predominante la presencia de árboles sanos y vigorosos en todos los tratamientos; los individuos que presentan algún tipo de daño no pasan en ningún caso del 10%. En relación con la posición de la copa, existe mucha variabilidad entre los tratamientos. El 42,1% de los individuos en el tratamiento GLEPLA30 muestran una copa completamente libre, mientras que en ACRPLA30 la mayor parte de individuos (83,9%) recibe luz vertical. En relación con la forma de la copa, de nuevo, GLEPLA30 muestra la mejor arquitectura, con el 52,6% de individuos con copa perfecta; es decir, muy vigorosa y con forma de círculo completo. Sin embargo, ACRPLA05, ACRPLA30 y ACROND05, a pesar de su buen comportamiento en cuanto a posición de copa, presentan un porcentaje relativamente bajo de individuos con forma de copa perfecta: 16,7%; 16,1% y 10,7%, respectivamente (Cuadro 7).

En área basal, el mejor resultado (Cuadro 8) se presentó en el tratamiento ACRPLA30 con 23,82 m^2/ha. Todos los demás tratamientos muestran un área basal inferior a 6 m^2/ha, lo cual es reflejo básicamente de la baja densidad de individuos en estas plantaciones (Cuadro 4). Un resultado similar fue obtenido por Claussi *et al.* (1992) en fajas de 4 m de ancho, entrefajas de 15 m de ancho y 4 m entre árboles: 10,03 m^2/ha para *C. catenaeformis* a los 16,7 años.

Es importante destacar que el número de árboles entre tratamientos muestra diferencias de hasta más de 400 árboles por hectárea, condición que afecta la productividad de los distintos sistemas. Por ejemplo, entre el tratamiento más productivo

Cuadro 6.
Frecuencia (F) y porcentaje (%) de forma de fuste con respecto al número total de ejes vivos en plantaciones de *C. catenaeformis* en fajas de enriquecimiento

Forma de fuste	Tratamiento																	
	GLEPLA 05		GLEPLA 10		GLEPLA 30		ACRPLA 05		ACRPLA 10		ACRPLA 30		ACROND 05		CAMCOL 05		CAMCOL 10	
	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%
Bifurcado	3	4,6	5	8,8			1	1,9	3	4,1	5	8,9					2	4,3
Inclinado	4	6,2	10	17,5			12	22,2	2	2,7	2	3,6	15	24,6	3	5,7	4	8,7
Ejes sin defectos de forma	56	86,2	42	73,7	37	100	44	81,5	64	87,7	54	96,4	38	62,3	51	96,2	46	100
Fuste y copa vigorosos		91,9		98,2		100		98,1		97,1		98,2		98,3		94,2		97,8

Cuadro 7.
Estado sanitario de los árboles en plantaciones de *C. catenaeformis* en fajas de enriquecimiento
Clases representadas en porcentajes en relación con el número total de árboles vivos en cada tratamiento

	GLE PLA05	GLE PLA10	GLE PLA30	ACR PLA05	ACR PLA10	ACR PLA30	ACR OND05	CAM COL05	CAM COL10
Posición de la copa									
Emergente	19,1	18,5	42,1	35,8	28,8	16,1	23,2	17,0	25,5
Dosel superior	35,3	18,5	18,4	26,4	23,3	21,4	17,9	15,1	34,0
Dosel intermedio	19,1	29,6	18,4	17,0	12,3	23,2	12,5	18,9	19,1
Dosel inferior	8,8	20,4	18,4	15,1	11,0	32,1	21,4	32,1	19,1
Sotobosque	17,6	13,0	2,6	5,7	24,7	7,1	25,0	17,0	2,1
Forma de la copa									
Perfecta	29,2	27,8	52,6	16,7	31,5	16,1	10,7	23,1	45,7
Buena	33,8	18,5	23,7	46,3	32,9	25,0	33,9	19,2	30,4
Tolerable	20,0	42,6	15,8	20,4	26,0	41,1	35,7	44,2	19,6
Pobre	10,8	9,3	5,3	14,8	4,1	8,9	17,9	7,7	2,2
Muy pobre	6,2	1,9	2,6	1,9	5,5	8,9	1,8	5,8	2,2

Cuadro 8.
Productividad de *C. catenaeformis* en plantaciones en líneas de enriquecimiento de 19-20 años
Promedios con la misma letra no son estadísticamente diferentes (P 0,05), prueba de Duncan

Código de tratamientos		Area basal (m^2/ha)		Volumen (m^3/ha)		IMA Volumen (m^3/ha/año)	
GLEPLA05	001	3,02	b	28,12	b	1,46	B
GLEPLA10	002	3,10	b	30,80	b	1,75	B
GLEPLA30	003	2,53	b	29,13	b	1,56	B
ACRPLA05	004	5,58	b	69,26	b	3,64	B
ACRPLA10	005	3,44	b	39,56	b	2,28	B
ACRPLA30	006	23,82	a	226,86	a	13,42	A
ACROND05	007	4,36	b	48,16	b	2,66	B
CAMCOL05	008	1,78	b	17,30	b	1,02	B
CAMCOL10	009	5,42	b	56,18	b	3,34	B
R^2		0,81		0,76		0,77	
P > F		0,0001	*	0,0001	*	0,0001	*

en volumen (ACRPLA30: 226,9 m^3/ha) y el menos productivo (CAMCOL05: 17,3 m^3/ha), se da una diferencia de 489 árboles por hectárea, a favor del primer tratamiento. Por otra parte, ACRPLA05 (69,3 m^3/ha) superó ampliamente en volumen a CAMCOL05 (17,3 m^3/ha), a pesar de tener solo un árbol más de diferencia (72 y 71 árboles por hectárea, respectivamente) lo cual, en este caso, debe atribuirse principalmente a la calidad de sitio.

Plantación de *Amburana cearensis* en fajas de enriquecimiento

El mejor resultado en dap promedio se presentó en el tratamiento GLEOND05 con 14,6 cm de diámetro (Cuadro 9); considerando la edad de la plantación, estos resultados muestran que *A. cearensis* es una especie de mediano a lento crecimiento. La diferencia en crecimiento en dap entre los tratamientos es significativa a nivel de 0,05. La comparación de promedios grupales muestra que el dap promedio de los tratamientos en suelos gleysol difiere significativamente de los establecidos en suelos acrisol y cambisol; entre acrisoles y cambisoles también hay diferencias significativas. En consecuencia, los mejores incrementos diamétricos se dieron en los suelos gleysol. No hay evidencia estadística de que la topografía haya influido en el incremento diamétrico; en cambio, el sistema de plantación sí mostró una influencia.

Con respecto a la altura, los resultados confirman que *A. cearensis* es una especie de lento a mediano crecimiento. El mayor promedio se obtuvo en el tratamiento GLEPLA30 con 10,7 m y un IMA en altura de 0,5 m por año, lo cual es inferior al rango mencionado por Dawkins (1958). La diferencia en crecimiento en altura total entre los tratamientos es significativa al nivel de 0,05. Los mejores resultados en altura total se hallan en el suelo gleysol. Este estudio no arrojó evidencia estadística de que la fisiografía del terreno influya en la altura total de *A. cearensis* en fajas de enriquecimiento. La mayor altura dominante promedio se encontró en el tratamiento GLEPLA30 (15,78 m).

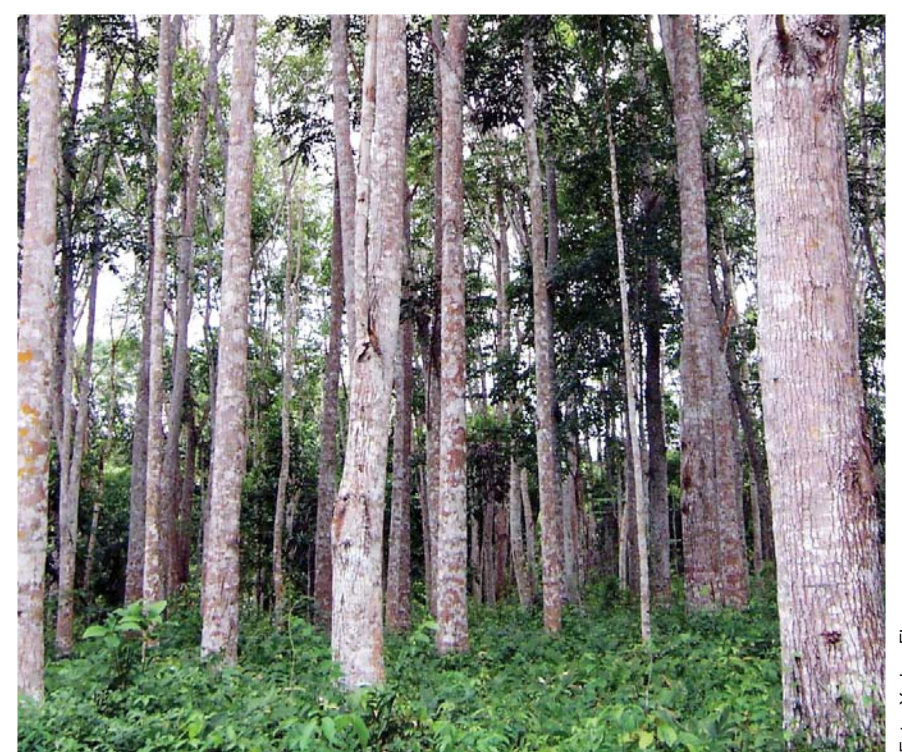
Cuadro 9.
Crecimiento de *A. cearensis* en plantaciones en líneas de enriquecimiento de 19-20 años
Promedios con la misma letra no son estadísticamente diferentes (P 0,05), prueba de Duncan

Tratamientos		Número de árboles por ha	Porcentaje de árboles actuales en relación al número original (%)	dap (cm)	IMA dap (cm/ año)	Altura total (m)	IMA altura total (m/año)	Altura dominante (m)	Altura comercial (m)
GLEPLA05	001	69 d	52 c	9,4 de	0,5 de	9,68 ab	0,50 ab	9,68 bcd	6,31 Abc
GLEPLA10 abcd	002	307 b	91 a	9,4 de	0,5 cde	8,24 bc	0,42 ab	11,94 b	5,90
GLEPLA30	003	248 b	50 c	13,5 ab	0,7 ab	10,70 a	0,52 a	15,78 a	7,15 A
GLEOND05 abcd	004	85 d	64 bc	14,6 a	0,8 a	10,42 a	0,52 a	10,42 bc	6,02
ACRPLA10	005	106 cd	53 c	8,7 def	0,4 e	7,34 c	0,38 b	7,34 d	4,85 D
ACRPLA30	006	420 a	63 bc	6,9 f	0,5 de	7,34 c	0,38 b	10,14 bc	5,36 Cd
ACROND05	007	93 dc	70 bc	10,7 dc	0,6 bcd	9,00 abc	0,46 ab	9,00 cd	5,77 Bcd
ACRCOL05	008	101 dc	76 ab	12,1 bc	0,5 abc	10,04 ab	0,52 a	10,24 bc	6,78 Ab
CAMOND05	009	69 d	31 d	7,5 ef	0,4 e	8,30 bc	0,42 ab	8,60 cd	6,31 Abc
CAMCOL05	010	156 c	70 bc	8,6 def	0,5 de	8,98 abc	0,46 ab	10,06 bc	6,38 Abc
CAMCOL10	011	75 d	90 a	8,5 def	0,4 e	8,82 abc	0,46 ab	8,82 cd	5,77 Bcd
R^2		0,88	0,67	0,74	0,65	0,48	0,33	0,64	0,39
P > F		<0,0001 *	<0,0001 *	<0,0001 *	<0,0001 *	0,0009 *	0,0483 *	<0,0001 *	0,0137 *

La prueba de contrastes ortogonales muestra que los mejores resultados en altura dominante se hallan también en suelo gleysol (Cuadro 10).

Todos los tratamientos, a excepción del GLEPLA30, presentaron fustes sinuosos en más del 20% de los individuos; especialmente en ACRPLA30: 34,9% de individuos poco sinuosos y 9,5% muy sinuosos (Cuadro 11). El tratamiento ACRCOL05 presentó un 60,5% de individuos con fustes rectos y sin defectos de forma. El porcentaje de árboles inclinados también es notorio en todos los tratamientos, excepto en CAMOND05, que no presenta ningún individuo con esta característica. En general, se confirma que, en fajas de enriquecimiento, esta especie presenta muchos problemas de forma. En general, se notó un predominio de individuos vigorosos, aunque en menor grado que en *C. catenaeformis*.

El 19% de los individuos en el tratamiento GLEPLA30 muestra una copa completamente libre (Cuadro 12), mientras que en el caso de ACRPLA10 la mayor parte de los in-


Foto: Ymber Flores.

Plantación pura a campo abierto de *Cedrelinga catenaeformis* de 20 años de edad. Bosque Nacional Alexander von Humboldt, Perú

Cuadro 10.
Comparación de promedios grupales de variables de crecimiento a través de contrastes ortogonales
Los valores numéricos corresponden a las P > F. Plantaciones de *A. cearensis* en líneas de enriquecimiento

Comparación	Número de árboles por ha	Porcentaje de árboles actuales	dap (cm)	IMA dap (cm/año)	Altura total (m)	IMA Altura total (m/año)	Altura dominante (m)	Altura comercial (m)
ACR vs CAM	<0,0001 *	0,7073 NS	0,0153 *	0,0334 *	0,5597 NS	0,7338 NS	0,9749 NS	0,1429 NS
GLE vs ACR	0,8479 NS	0,7664 NS	0,0002 *	0,0053 *	0,0033 *	0,0565 NS	<0,0001 *	0,0278 *
OND vs COL	0,1153 NS	<0,0001 *	0,0532 NS	0,0705 NS	0,9366 NS	0,7285 NS	0,5963 NS	0,4237 NS
PLA vs COL	<0,0001 *	0,0005 *	0,7692 NS	0,8008 NS	0,1513 NS	0,1457 NS	0,0351 *	0,1781 NS
05 vs 10	<0,0001 *	0,0003 *	<0,0001 *	0,0006 *	0,0041 *	0,0267 *	0,6044 NS	0,0104 NS
R2	0,88	0,67	0,74	0,65	0,48	0,33	0,64	0,39
P > F	<,0001 *	<,0001 *	<0,0001 *	<0,0001 *	0,0009 *	0,0483 *	<0,0001 *	0,0137 *

dividuos (65%) se ubican en el sotobosque; es decir están completamente suprimidos y es probable que no desarrollen más. Estos individuos no reciben luz solar directa, solo algo de luz difusa y por esta razón son débiles y con tendencia a morir. En relación con la forma de la copa, los árboles del tratamiento GLEOND05 muestran la mejor arquitectura: 24% de individuos con copa perfecta y 17% con copa buena, mientras que en el ACRPLA10 el 35% de los individuos tienen copa de forma muy pobre, lo cual es consistente con el hecho de tener la altura promedio más baja (7,3 m) del experimento, ya que los árboles con copas deformes y suprimidas tienden a desarrollar poco en diámetro y altura.

Debido a los diámetros pequeños y al número reducido de árboles por hectárea en los diversos tratamientos de este experimento, las áreas basales resultaron muy bajas. El mejor resultado en área basal se presentó en el tratamiento GLEPLA30 con 5,62 m^2/ha. El tratamiento más productivo en volumen fue GLEPLA30 con 39,30 m^3/ha. El segundo tratamiento con mayor volumen fue ACRPLA30 (14,52 m^3/ha), el cual sin embargo posee 420 árboles/ha, el mayor número de individuos por hectárea en todo el experimento. Un caso notorio se presenta entre los tratamientos GLEPLA10 y GLEPLA30. El primero tiene más individuos (307 árboles/ha) que el segundo (248 árboles/ha), pero este último casi cuadriplica en volumen al primero. Puesto que en este caso el único factor que varió es el ancho de la faja, puede concluirse que en la faja de 30 m de ancho, la mayor intensidad de luz originó un desarrollo superior en dap (13,5 cm) y altura total promedio (10,7 m).

En todos los tratamientos evaluados *Cedrelinga catenaeformis* tiende a desarrollar fustes muy rectos con predominancia de árboles sanos y vigorosos. *Amburana cearensis*, por su parte, presenta fustes sinuosos en más del 20% de los individuos, con predominio de individuos vigorosos aunque en menor grado que en *C. catenaeformis.*

Cuadro 11.
Frecuencia (F) y porcentaje (%) de forma de fuste con respecto al número total de ejes vivos en plantaciones de 20 años de *A. cearensis* en fajas de enriquecimiento

Códigos de forma	Tratamientos																					
	GLE PLA05		GLE PLA10		GLE PLA30		GLE OND05		ACR PLA10		ACR PLA30		ACR OND05		ACR COL05		CAM OND05		CAM COL05		CAM COL10	
	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%
Poco sinuoso	17	32,7	23	25,0	12	17,9	21	32,8	15	28,3	22	34,9	11	26,2	16	21,1	8	25,8	17	24,3	15	33,3
Muy sinuoso	1	1,9			4	6,0	6	9,4	2	3,8	6	9,5	1	2,4	8	10,5	1	3,2	4	5,7	6	13,3
Bifurcado			3	3,3	5	7,5	4	6,3	7	13,2		1,6			2	2,6	9	29,0	9	12,9	1	2,2
Inclinado	16	30,8	24	26,1	13	19,4	20	31,3	8	15,1	20	31,7	7	16,7	10	13,2			8	11,4	5	11,1
Ejes sin defectos de forma	27	51,9	42	45,7	30	44,8	22	34,4	7	13,2	8	12,7	23	54,8	46	60,5	14	45,2	37	52,9	18	40,0
Fuste y copas vigorosos		80,0		88,6		82,3		79,4		69,8		71,9		79,4		90,8		86,2		80,0		90,9

Cuadro 12.
Posición y forma de copa de los árboles en plantaciones de *A. cearensis* en fajas de enriquecimiento
Clases representadas en porcentajes en relación con el número total de árboles vivos de cada tratamiento

	GLE PLA05	GLE PLA10	GLE PLA30	GLE OND05	ACR PLA10	ACR PLA30	ACR OND05	ACR COL05	CAM OND05	CAM COL05	CAM COL10
Posición de copa											
Emergente	6,4	4,5	19,0	17,2	2,2	1,6	12,8	6,7	0,0	0,0	2,3
Dosel superior	14,9	19,3	12,7	23,4	6,5	12,9	10,3	21,3	6,7	7,6	11,4
Dosel intermedio	21,3	19,3	17,5	26,6	4,3	17,7	10,3	34,7	16,7	19,7	34,1
Dosel inferior	29,8	20,5	19,0	17,2	21,7	37,1	25,6	22,7	36,7	27,3	31,8
Sotobosque	27,7	36,4	31,7	15,6	65,2	30,6	41,0	14,7	40,0	45,5	20,5
Forma de copa											
Perfecta	11,5	17,4	17,5	23,8	6,5	1,6	10,5	22,7	6,7	6,1	6,7
Buena	25,0	24,4	28,6	17,5	17,4	14,5	10,5	33,3	6,7	12,1	26,7
Tolerable	26,9	24,4	19,0	23,8	26,1	32,3	34,2	18,7	46,7	27,3	44,4
Pobre	5,8	17,4	15,9	22,2	15,2	19,4	23,7	16,0	20,0	22,7	11,1
Muy pobre	30,8	16,3	19,0	12,7	34,8	32,3	21,1	9,3	20,0	31,8	11,1

Cuadro 13.
Productividad de *A. cearensis* en plantaciones en líneas de enriquecimiento de 19-20 años
Promedios con la misma letra no son estadísticamente diferentes (P 0.05), prueba de Duncan

Tratamiento		Area basal (m^2/ha)		Volumen (m^3/ha)		IMA Volumen (m^3/ha/año)	
GLEPLA05	001	0,50	cd	2,68	b	0,16	b
GLEPLA10	002	2,16	bc	10,44	b	0,62	b
GLEPLA30	003	5,62	a	39,30	a	2,08	a
GLEOND05	004	1,50	cd	9,08	b	0,50	b
ACRPLA10	005	0,40	cd	1,52	b	0,10	b
ACRPLA30	006	3,70	b	14,52	b	0,84	b
ACROND05	007	0,90	cd	5,10	b	0,26	b
ACRCOL05	008	1,18	cd	6,82	b	0,38	b
CAMOND05	009	0,30	d	1,52	b	0,12	b
CAMCOL05	010	0,92	cd	4,90	b	0,30	b
CAMCOL10	011	0,44	cd	1,98	b	0,12	b
R^2		0,7		0,55		0,54	
P > F		<0,0001	*	<0,0001	*	<0,0001	*

Conclusiones

En plantaciones puras a la edad de 20 años, *C. catenaeformis* fue la especie de mejor crecimiento con 35,8 cm dap (IMA 1,96 cm/año), 26,42 m de altura total (IMA 1,42 m/año), 30,4 m^2 de área basal, 380 m^3/ha de volumen (IMA 21,4 m^3/ha/año). El análisis estadístico mostró que estos valores fueron significativamente superiores a los de las otras especies ensayadas. Estos resultados también fueron superiores a los obtenidos en las plantaciones en fajas de enriquecimiento, por lo que puede afirmarse que la especie es una de las más promisorias para plantaciones puras. *C. catenaeformis* tiende a tener fustes, rectos y cilíndricos, sin problemas sanitarios; un buen porcentaje de individuos presentan copas de buena forma y en posición dominante. Los mejores promedios de área basal por hectárea se dieron en *C. catenaeformis* y *S. amara*. El mayor volumen maderable fue de 380,2 m^3/ha para *C. catenaeformis*, aunque a nivel de parcelas experimentales hubo una variabilidad en el rendimiento, la cual puede ser atribuida a la densidad de individuos existentes y a la productividad del sitio. A pesar de esta variación atribuida al micrositio, esta especie muestra una productividad muy superior a la de las otras especies en este experimento.

En plantaciones en fajas de enriquecimiento de *C. catenaeformis*, el mayor dap promedio se presentó en el tratamiento ACRPLA05 con 30,7 cm dap (IMA de 1,6 cm/año). Estos resultados son significativamente diferentes al resto de tratamientos. *C. catenaeformis* es una especie de mediano a rápido crecimiento y alcanzó a los 19 años un promedio de 23,2 m de altura en el tratamiento ACRPLA05 (IMA 1,1 m/año). No existe evidencia estadística de que la fisiografía influya sobre la altura total de *C. catenaeformis* establecidos en fajas de enriquecimiento en este sitio. En relación con la forma del fuste,

los tratamientos GLEPLA30 y CAMCOL10 mantienen los mejores fustes, rectos y cilíndricos. Puede concluirse que esta especie presenta pocos problemas de forma, al ser establecida en fajas de enriquecimiento. Asimismo es predominante la presencia de árboles vigorosos en todos los tratamientos. En relación con la posición de la copa, existe mucha variabilidad entre tratamientos; el mejor resultado se presenta en el tratamiento ACRPLA05 que posee el 62,2% de individuos en las categorías emergente y dosel superior, seguido de cerca por el tratamiento GLEPLA30 con el 60,5%. Estos dos tratamientos también muestran un excelente crecimiento en diámetro y altura. El mejor resultado en área basal se presentó en el tratamiento ACRPLA30 con 23,8 m^2/ha. Estos resultados son significativamente diferentes del resto de los tratamientos. Con una densidad mayor de árboles se genera más volumen maderero; por ejemplo, entre el tratamiento más productivo en volumen (ACRPLA30: 226,9 m^3/ha) y el menos productivo (CAMCOL05: 17,3 m^3/ ha), se da una diferencia de 489 árboles por hectárea, a favor del primer tratamiento.

En plantaciones de *A. cearensis* en fajas de enriquecimiento, los mejores resultados en dap, altura total promedio y altura dominante se presentaron en suelos gleysoles. Los resultados muestran que *A. cearensis* es una especie de mediano a lento crecimiento tanto en dap como en altura total. No hay evidencia estadística de que la fisiografía influya sobre el dap de *A. cearensis*. Todos los tratamientos, a excepción de GLEPLA30, presentaron fustes sinuosos en más del 20% de los individuos, especialmente en ACRPLA30. Con respecto al estado fitosanitario de los árboles, existe, en general, un predominio de individuos sanos, aunque en menor grado que en *C. catenaeformis*. En relación con la posición de la copa, existe mucha variación entre los tratamientos. El mejor resultado en posición y forma de copa se presenta en el tratamiento GLEOND05 que posee el 40% de individuos en las categorías emergente y dosel superior y 24% de individuos con copa perfecta. El mejor resultado en área basal se presentó en el tratamiento GLEPLA30 con 5,62 m^2/ha. Los resultados de productividad, en términos de volumen, se ven afectados por el número de individuos actuales por hectárea; el tratamiento más productivo en volumen fue el GLEPLA30 con 39,30 m^3/ha.

Recomendaciones

Debido a que los resultados preliminares de crecimiento de *Cedrelinga catenaeformis* son bastante satisfactorios, se recomienda priorizar esta especie en actividades de repoblamiento forestal en la región Amazónica del Perú, principalmente en suelos de tipo acrisol y zonas con buen drenaje. Aunque los experimentos llevados a cabo con *C. catenaeformis* en general han mostrado buenos resultados, la decisión sobre establecer esta especie en plantaciones puras o en fajas de enriquecimiento debe basarse tanto en consideraciones ecológicas como económicas. Es necesario enfatizar este último aspecto ya que aún no se posee la información económica precisa, en cuanto a costos y rendimientos, para analizar los aspectos financieros de la producción. Ante la evidencia de que los árboles de *A. cearensis* son generalmente de mala forma y lento crecimiento, se considera que la especie tiene potencial limitado para su uso en plantaciones puras y en fajas de enriquecimiento. Debe evaluarse las propiedades tecnológicas de la madera de *Cedrelinga catenaeformis* procedente de las plantaciones de Von Humboldt y determinar la factibilidad de su utilización a la edad de 20 años.

Literatura citada

Blaser, J; Claussi, A; Díaz, M. 1985. Crecimiento de *Cedrelinga catenaeformis* en plantación. El Chasqui n° 9/10: 20-22.

Carrera G, F. 1987. Experiencias y resultados de las plantaciones forestales en la Zona Forestal Alexander Von Humbolt. Pucallpa, Perú, Estación Experimental Pucallpa. 79p. (Documento de Trabajo N°5. INFOR-COTESU).

Claussi, A; Marmillod, D; Blaser, J. 1992. Descripción silvicultural de las plantaciones forestales de Jenaro Herrera. Iquitos, PE, Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana, Centro de Investigaciones Jenaro Herrera. 334 p.

Dawkins, HC. 1958. The management of natural tropical high-forest with special reference to Uganda. Oxford, UK, Imperial Forestry Institute. Univ. Oxford. 155 p.

INIAA-JICA. 1991. Manual silvicultural. Informe final del Proyecto Estudio Conjunto sobre Investigación y Experimentación en Regeneración de Bosques en la Región Amazónica de la República del Perú. Japón. 260 p.

Kanashiro, M; Yared, J. 1991. Experiencias com plantios florestais na Bacia Amazónica. *In* Desafio das florestas neotropicais. Curitiba, BR. p.117-137.

Schwyzer, A. 1981. El tornillo (*Cedrelinga catenaeformis* Ducke). Iquitos, Perú, Proyecto de Asentamiento Rural Integral Jenaro Herrera. 34 p. (Boletín Técnico n° 15).

Synnot, TJ. 1979. A manual of permanent plot procedures for tropical rainforest. Oxford, UK, Tropical Forestry Papers, CFI, University of Oxford. 67 p.

Ugalde, L. 2000. El sistema MIRA, Componente de Silvicultura. Manual del usuario. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 82 p.

Vidaurre, H. 1994. Balance de experiencias silviculturales con *Cedrelinga catenaeformis* Ducke (Mimosoideae) en la Región de Pucallpa, Amazonia Peruana. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 111 p.